

MAGAZYNOWANIE NADWYŻEK CIEPŁA W TUNELACH FOLIOWYCH – – KONCEPCJA KAMIENNEGO AKUMULATORA CIEPŁA*

Ryszard Hołownicki, Paweł Konopacki, Waldemar Treder, Jacek Nowak
Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach
Sławomir Kurpaska, Hubert Latała
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Uprawa warzyw w nieogrzewanych tunelach foliowych jest znaczącym źródłem przychodów dla ponad 40 tys. niewielkich gospodarstw (1-3 ha) w Polsce. W artykule przedstawiono cele i zakres projektu ukierunkowanego na opracowanie kompleksowej technologii magazynowania niewykorzystanych dotąd nadwyżek ciepła dla towarowej produkcji roślin ogrodniczych w tunelach foliowych. Pomimo licznych publikacji z tego zakresu, dostępne wyniki są wycinkowe i dlatego nie nadają się do praktycznego zastosowania. Brak jest danych o potencjalnej dobowej nadwyżce ciepła dla naszej strefy klimatycznej koniecznych do wyznaczenia pojemności akumulatora. Nie jest znany także wpływ układu magazynowania ciepła na modyfikację mikroklimatu w obiekcie i na efekty produkcyjne, w tym zwłaszcza na wielkość i jakość plonu oraz na przyspieszenie owocowania. Kluczowym składnikiem projektu jest koncepcja konstrukcji akumulatora, którą zastrzeżono w Urzędzie Patentowym. Nowatorskim rozwiązaniem jest segmentowy akumulator z szeregowym ładowaniem ciepłym powietrzem, który charakteryzuje się dużą elastycznością pracy i umożliwia efektywne wykorzystanie nawet niewielkich nadwyżek ciepła. W zależności od potrzeb możliwe jest wykorzystanie 25; 50; 75 lub 100% pojemności całego złoża. W końcowej fazie projektu zostaną określone nadwyżki ciepła i efekty produkcyjne podczas uprawy dwóch gatunków testowych (pomidor, ogórek). Efektem przeprowadzonych badań będą wytyczne konstrukcyjno-eksploatacyjne oparte na całościowej analizie procesu magazynowania ciepła. Przewiduje się, że dzięki zastosowaniu akumulatorów ciepła będzie można uzyskać lepsze efekty produkcyjne bez dodatkowego zużycia energii i emisji szkodliwych substancji powstałych ze spalania tradycyjnych nośników energii.

Słowa kluczowe: uprawy pod osłonami, magazynowanie ciepła, energia odnawialna

* Publikacja współfinansowana przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

Wstęp

Polska jest jednym z największych producentów owoców i warzyw. Jesteśmy światowymi liderami w produkcji porzeczek, agrestu, wiśni i największymi w Europie producentami jabłek i borówki amerykańskiej, kapusty i cebuli. Obserwuje się również rosnącą produkcję warzyw pod osłonami, których powierzchnia zwiększyła się dwukrotnie w latach 1995-2006. Największą powierzchnię zajmują pomidory (2386 ha) i ogórki (1321 ha). Produkcja tych gatunków jest bardzo rozdrobniona. Według Kaniszewskiego [2007] obydwa gatunki są uprawiane aż w ponad 40 tys. gospodarstw, z których ponad połowa w nieogrzewanych tunelach foliowych o powierzchni nie przekraczającej 0,05 ha. Ogrzewane obiekty to szklarnie o powierzchni powyżej 0,3 ha.

Głównym składnikiem kosztów produkcji w ogrzewanych szklarniach są ceny energii (60-70%). W związku z rosnącymi cenami tradycyjnych nośników energii istotną rolę będzie odgrywała produkcja warzyw w nieogrzewanych tunelach foliowych, gdyż ich uprawa jest wciąż opłacalna dzięki wysokim plonom. W takich warunkach plony pomidorów i ogórków mogą sięgać nawet ponad 30 kg·m⁻². Uprawa warzyw w tunelach foliowych ma nie tylko duże znaczenie gospodarcze, ale również jest często głównym źródłem przychodów dla niewielkich gospodarstw (1-3 ha), które nie mają szans na prowadzenie opłacalnej tradycyjnej produkcji roślinnej i zwierzęcej.

Nowoczesne tunele foliowe są wyposażone w szereg rozwiązań technicznych (np. wietrzniki, kurtyny, cieniówki, dwuwarstwowe pokrycie, systemy sterowania temperaturą wraz ze zbiornikami do akumulowania wody w systemie ogrzewania,) umożliwiających nie tylko utrzymanie odpowiedniego mikroklimatu, ale również na bardziej racjonalną gospodarkę energetyczną. Pomimo tego znaczna część ciepła powstałego w tunelu, w wyniku przepuszczalności promieni słonecznych przez ich osłonę i ich konwersji na ciepło, jest marnowana, gdyż tunele muszą być wietrzone w celu niedopuszczenia do nadmiernego wzrostu temperatury w obiekcie. Straty ciepła z tego tytułu są trudne do oszacowania, ponieważ zależą od wielu czynników, w tym zwłaszcza od szerokości geograficznej i przebiegu pogody.

Przegląd literatury

Podejmowano wiele prób magazynowania traconego ciepła. Wskazywano jednak, że małe natężenie promieniowania słonecznego, jego zmienność w czasie oraz cykliczność pracy utrudnia realizację tego zadania. Zagadnienie magazynowania ciepła było przedmiotem licznych prac badawczych i analiz w wielu krajach. Stosowano do tego celu akumulatory glebowe, kamienne i cieczowe oraz wykorzystujące przemiany fazowe. Wykazano przydatność energetyczną takich sposobów magazynowania ciepła w warunkach umiarkowanego klimatu, stwierdzając jednocześnie jego bezużyteczność przy ujemnych wartościach temperatury otoczenia [Kurata i Takakura, 1991]. Oszczędności w zużyciu ciepła w uprawach pod osłonami wskazuje na przydatność układów magazynowania [Ozturk i Bascetincelik 2003]. Takie przekonanie wyrażają również Kurpaska i in. [2004], którzy prowadzili szeroko zakrojone prace nad magazynowaniem ciepła w glebie. Badania wykonano przy arbitralnie przyjętych zmiennych decyzyjnych (strumień i temperatura powietrza, początkowa wilgotność gleby). Analizowano strumienie ciepła jawnego, powstałego

z różnicy temperatury między wtłaczanym powietrzem, a złożem kamieni oraz ciepła przejścia fazowego w wyniku przemiany termodynamicznej wody zawartej we wtłaczanym powietrzu [Bouhdjar i in. 1996].

Wysoką efektywnością magazynowania ciepła charakteryzowały się akumulatory wykorzystujące przemianę fazową w złożu wykonanym z parafiny [Boulard i in. 1990; Fath 1991; Hamada i Fukai 2005; Ozturk 2003]. Z uwagi jednak na wysokie koszty wykonania praktyczne ich zastosowanie można uznać za wątpliwe. Bardziej przydatne do tego celu są tańsze złoża kamienne, które próbowano zastosować do magazynowania ciepła w obiektach szklarniowych już ponad 30 lat temu. W licznych badaniach analizowano efektywność magazynowania ciepła w takim złożu oraz zakres temperatur otaczającego powietrza, przy których system magazynowania jest w stanie pokryć zapotrzebowanie cieplne obiektu. Kurklu i Bilgin [2003] określili wpływ ciepła pozyskanego z akumulatora na wzrost temperatury powietrza w tunelu i opracowali matematyczny model do symulowania pracy systemu magazynowania oraz określili efektywność pracy analizowanego systemu. Przedmiotem badań były również zagadnienia konstrukcyjne akumulatorów. Analizowano wpływ izolacyjności ścian szklarni i cech fizycznych złoża (porowatość, wilgotność, przewodnictwo i pojemność cieplną złoża) na efektywność wspomaganie ogrzewania obiektu z wykorzystaniem energii promieniowania słonecznego [Chen i Liu 2004].

Wprawdzie przeprowadzone dotąd badania można uznać za bardzo obiecujące, to ze względu na ich wycinkowy charakter, gdyż koncentrowały się głównie na badaniach zagadnień technicznych procesu magazynowania ciepła, mają bardzo ograniczone praktyczne zastosowanie. Jednocześnie opracowane konstrukcje akumulatorów były stanowiskami laboratoryjnymi i dlatego są nieprzydatne dla produkcji towarowej. Ponadto brak jest pełnych sezonowych danych o potencjalnej dobowej nadwyżce ciepła dla naszej strefy klimatycznej. Bez takich danych określenie pojemności akumulatora adekwatnego dla krajowych warunków pogodowych nie jest możliwe. Brak jest również dostępnych informacji o wpływie układu magazynowania ciepła na modyfikację mikroklimatu i na efekty produkcyjne, w tym zwłaszcza na wielkość i jakość plonu oraz na przyspieszenie owocowania.

Projekt Hortienergia

W związku z brakiem dostępnych wyników badań nad wykorzystaniem nadwyżek ciepła przydatnych dla praktyki ogrodniczej, podjęto próbę opracowania kompleksowej technologii magazynowania ciepła dla produkcji towarowej w nieogrzewanych tunelach foliowych. W tym celu stworzono konsorcjum badawcze, obejmujące Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach i Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, które przygotowało wniosek na projekt rozwojowy do Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Projekt został zaakceptowany, a jego realizację przewidziano na lata 2010-2015.

Zakres projektu obejmuje nie tylko opracowanie wytycznych konstrukcyjno-eksploatacyjnych i całościową analizę procesu magazynowania ciepła, lecz również określenie jego wpływu na uprawiane rośliny w obiekcie produkcyjnym. Przewiduje się, że dzięki temu będzie można uzyskać lepsze efekty produkcyjne bez dodatkowego zużycia energii i emisji szkodliwych substancji powstałych ze spalania tradycyjnych nośników energii. W naszej strefie klimatycznej obserwuje się tylko kilkanaście dni w całym sezonie uprawy

w tunelach foliowych, w których nie muszą być one dogrzewane. Wykorzystanie nadwyżek ciepła, oprócz oszczędności energii, powinno przyczynić się do poprawy warunków środowiskowych ważnych dla rozwoju roślin dzięki mniejszym wahaniom temperatury w obiekcie. Można również oczekiwać lepszej zdrowotności i jakości plonu, co z kolei ograniczy liczbę zabiegów chemicznej ochrony roślin. W konsekwencji zmniejszą się pozostałości środków ochrony roślin oraz obciążenie środowiska pestycydami.

W pierwszej fazie realizacji projektu wybudowano i wyposażono nieogrzewane tunele: laboratoryjny i doświadczalny zlokalizowane odpowiednio w UR Kraków i w IO Skierzwice. W tunelu laboratoryjnym, wykonywane są serie badań o charakterze technicznym. W związku z potrzebą oceny wielu czynników jednocześnie przy możliwie najniższych błędach pomiarów, badania są realizowane w warunkach symulowanych bez roślin. Były one ukierunkowane na określenie zmian temperatury i wilgotności złoza w wyniku tłoczenia powietrza z wnętrza tunelu do akumulatora. Będą one podstawą do określenia parametrów konstrukcyjnych oraz algorytmu sterowania mikroklimatem i nawadnianiem roślin. Uzyskane wyniki zostaną zweryfikowane w tunelach doświadczalnych obsadzonych roślinami. Ze względu na odmienną agrotechnikę i wymagania gatunków testowych (pomidor, ogórek) doświadczenia są wykonywane w oddzielnych tunelach, z których dwa są wyposażone w kompletny system akumulatorów ciepła. Dwa kolejne standardowo wyposażone tunele są obiektami kontrolnymi, oddzielnie dla uprawy pomidora i ogórka. W tunelach wyposażonych w akumulatory ciepła przewiduje się wydzielenie powierzchni, na której zostaną wykonane badania nad wpływem podgrzanej wody, wykorzystywanej w procesie nawadniania roślin, na wielkość i jakość plonów.

Zakres projektu jest niezwykle szeroki, gdyż przed upowszechnieniem wyników, obok zagadnień technicznych muszą być rozwiązane wszelkie problemy z zakresu biologicznych podstaw uprawy roślin. Należy bowiem sprawdzić wszelkie możliwe czynniki, które mogą mieć wpływ na uprawiane roślin w zmodyfikowanych warunkach mikroklimatycznych wywołanych częstą wymianą powietrza pomiędzy tunelem a akumulatorem. Będą również wyznaczone wzajemne relacje między parametrami podgrzanego powietrza tłoczonego do kamiennego akumulatora energii, a ilością wody do nawadniania uprawianych roślin i do utrzymania stałej wilgotności w złożu. Uzyskane dane umożliwią racjonalne nawadnianie roślin oraz ułatwią sterowanie mikroklimatem i składem atmosfery. Przedmiotem badań będzie także analiza aktywności biologicznej podłoża uprawowego poprzez określenie zmiany liczby bakterii, grzybów oraz promieniowców. Można oczekiwać modyfikacji składu mikrobiologicznego podłoża w związku ze skierowaniem strumienia ogrzanego powietrza z akumulatora w sąsiedztwo strefy korzeniowej uprawianych roślin. Konieczność przeprowadzenia takich badań wynika z faktu, iż zmiana jakiegokolwiek parametru fizykochemicznego podłoża ma swoje odbicie w zmianie procesów stymulujących jego aktywność biologiczną.

Koncepcja akumulatora nadwyżek ciepła

Kluczowym składnikiem projektu było opracowanie koncepcji, a następnie konstrukcji akumulatora nadwyżek ciepła. W oparciu o dostępną literaturę i konsultacje z praktykami założono, że akumulator powinien być umiejscowiony pod tunelem. Taka lokalizacja powinna przyczynić się do optymalnego wykorzystania terenu oraz do skrócenia przewodów

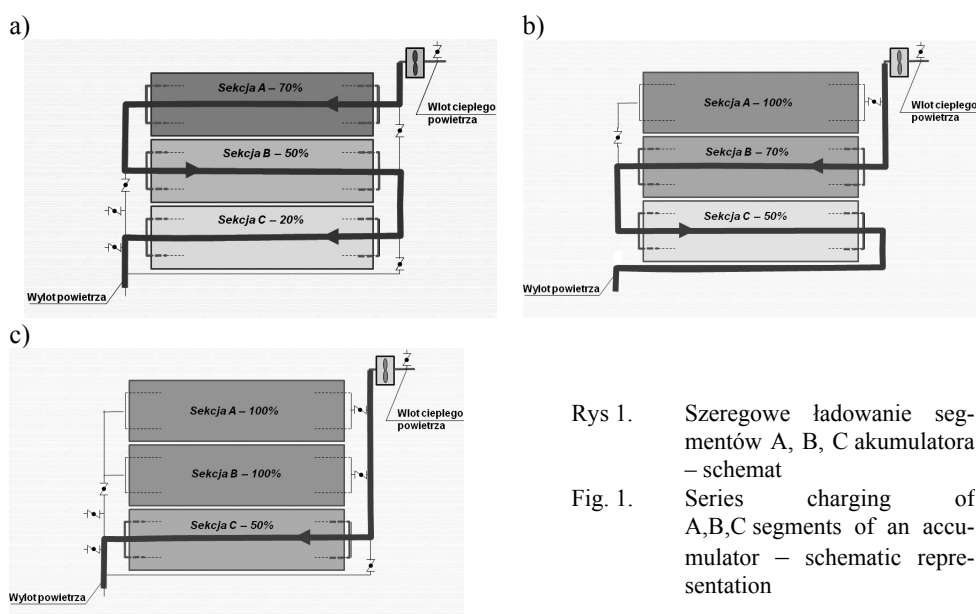
zasilających złoża i rozprowadzających ogrzane powietrze. Wprawdzie początkowo przewidywano wykonanie akumulatora ze złożem glebowym, ale zaniechano tego pomysłu z powodu zbyt dużych oporów przepływu powietrza i związanych z nimi znacznej mocy silników wentylatorów tłoczących powietrze. Uznano, że konieczny jest wybór innego materiału zapewniającego łatwiejszy przepływ powietrza. Rozważano użycie do tego celu bloczków betonowych lub kamienia. Ze względu na koszty wybrano kamień (porfir), którego zastosowanie wydaje się być kompromisem pomiędzy łatwym przepływem powietrza i efektywnym przejmowaniem i oddawaniem ciepła. Badania stanowiskowe wykonane w UR w Krakowie wykazały, że najbardziej odpowiednią będzie granulacja porfiru w granicach 30 do 63 mm [Kurpaska i in., 2012].

Ze względu na nowatorski charakter projektu niezwykle trudne okazało się określenie pojemności akumulatora w zależności od ilości ciepła możliwego do zmagazynowania w krajowych warunkach. Do obliczeń założono, że temperatura wewnątrz obiektu nie przekracza 24°C , a deficyt ciśnienia pary wodnej, występujący jako różnica pomiędzy aktualnym ciśnieniem, a ciśnieniem nasycenia, będzie równy 4 hPa. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że potencjalna dobowo ilość nadwyżek ciepła wynosi od $0,37 \text{ MJ}\cdot\text{m}^2$ do $1,72 \text{ MJ}\cdot\text{m}^2$ odpowiednio dla pochmurnej i słonecznej pogody. W oparciu o tak wyznaczone ilości ciepła obliczono maksymalną pojemność złoża, która powinna wynosić ok. $0,63 \text{ m}^3$ na m^2 powierzchni uprawy [Kurpaska i in. 2012]

Opracowano również oryginalną koncepcję konstrukcji oraz sposób ładowania i rozładowywania złoża akumulatora. Przyjęto szereg nowych, nie znanych dotąd rozwiązań. Należy do nich podział akumulatora na 3 niezależnie działające złoża i ich szeregowe ładowanie ciepłym powietrzem (rys. 1a,b,c). Takie rozwiązanie umożliwia efektywne wykorzystanie nawet niewielkich nadwyżek ciepła. W przypadku słonecznej pogody i wysokich nadwyżek ciepła można przeprowadzać ładowanie całego złoża, a podczas zachmurzenia skutkującego niewielką operacją słoneczną tylko jednego segmentu. W tym celu akumulator podzielono na trzy segmenty w stosunku 50; 25 i 25%, co umożliwia dużą elastyczność pracy i wykorzystanie w zależności od potrzeb 25; 50; 75 lub 100% pojemności całego złoża przy niezbędnej minimalnej różnicy temperatur. W odróżnieniu od podobnych znanych z literatury konstrukcji jednosegmentowych, w których występowały trudności w uzyskaniu niezbędnej różnicy temperatur $\Delta t > 3^{\circ}\text{C}$ pomiędzy złożem i tunelem, można dokonać wyboru właściwej pojemności akumulatora. Ponadto szeregowy sposób ładowania poszczególnych segmentów umożliwia bardziej efektywne wykorzystanie nadwyżek ciepła, gdyż ogrzane powietrze z wnętrza obiektu przepływając przez kolejne segmenty o coraz niższej temperaturze oddaje niemal całe ciepło.

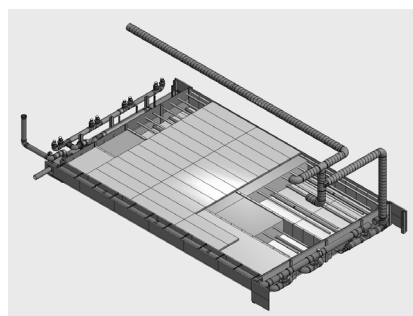
Ładowanie akumulatora polega na zassaniu przez wentylator promieniowy ciepłego powietrza za pośrednictwem perforowanych rur umieszczonych w górnej części tunelu (rys. 2, 3). Ciepłe powietrze jest kierowane układem kolektorów tłocznych, sterowanych elektrycznymi przepustnicami, do poszczególnych segmentów złoża kamiennego. Następnie jest rozprowadzane układem perforowanych rur z tworzywa sztucznego ułożonych w dolnej części złoża akumulatora. Wypływ schłodzonego powietrza odbywa się przez podobny układ rur perforowanych zlokalizowanych w górnej części złoża, skąd jest ono kierowane do kolektora odbiorczego zamontowanego po przeciwnej stronie akumulatora. W celu lepszego wykorzystania ciepła, powietrze przepływa szeregowo przez kolejne segmenty o niższej temperaturze (rys. 1 a,b,c) i dalej, w zależności od potrzeb, na zewnątrz lub

powrotnie do wnętrza tunelu. Po uzyskaniu żądanej temperatury złoża, sterownik mikroprocesorowy przełącza odpowiednie zawory klapowe i kieruje strumień powietrza do kolejnego segmentu. Rozładowanie ciepłego akumulatora przebiega w podobny sposób. Odmienny jest tylko kierunek przepływu powietrza z kolektora odbiorczego, które jest kierowane, w zależności od kombinacji doświadczalnej, bądź do perforowanych przewodów umieszczonych pod rynnami uprawowymi lub też do rur z zamontowanymi króćcami umieszczonymi w sąsiedztwie uprawianych roślin.

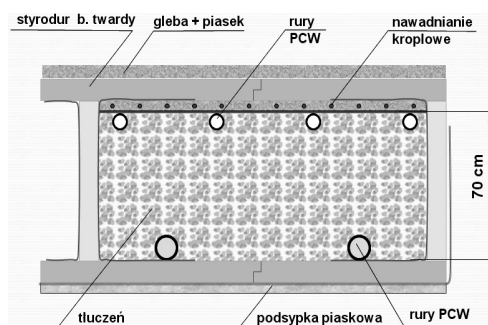


Rys 1. Szeregowe ładowanie segmentów A, B, C akumulatora – schemat

Fig. 1. Series charging of A,B,C segments of an accumulator – schematic representation



Rys. 2. Schemat kamiennego akumulatora nadwyżek ciepła w tunelu foliowym
Fig. 2. Schematic representation of the heat excess accumulator in a foil tunnel



Rys. 3. Przekrój poprzeczny akumulatora
Fig. 3. Cross-section of the accumulator

Budowa akumulatora kamiennego musiała być poprzedzona rozwiązaniem wielu szczegółowych problemów technicznych. W tym celu opracowano i zbudowano oryginalne stanowiska badawcze, które służyły do weryfikacji obliczeń teoretycznych w symulowanych warunkach produkcji towarowej. Do najważniejszych należały: parametry przewodów doprowadzających powietrze z górnej części tunelu (średnica, sposób perforacji), konfiguracja kolektorów doprowadzających ciepłe powietrze podczas ładowania akumulatora (położenie, rozstawa, perforacja) i tych odprowadzających powietrze podczas jego rozładowywania, jak również wyznaczenie mocy wentylatora i granulacji kamienia. Określono także perforację przewodów dostarczających powietrze bezpośrednio do podłoża uprawowego (wełna kokosowa) przy pomocy specjalnych króćców kierujących powietrze w sąsiedztwo strefy korzeniowych roślin. Opracowano również algorytm do sterownika mikroprocesorowego, gdyż ręczne ładowanie/rozładowanie akumulatora nie jest możliwe ze względu na potrzebę jednoczesnego śledzenia parametrów mikroklimatu i sterowanie elektrycznymi zaworami klapowymi.

Podsumowanie

Koncepcja akumulatora do magazynowania nadwyżek ciepła w tunelach foliowych zawiera wiele nowatorskich rozwiązań, które zastrzeżono w Urzędzie Patentowym RP [Hołownicki i in. 2012]. W przygotowaniu jest zastrzeżenie wynalazku w Europejskim Urzędzie Patentowym. Przedmiotem zgłoszenia jest segmentowa konstrukcja akumulatora i szeregowy sposób ich ładowania. Dzięki podziałowi akumulatora na mniejsze segmenty będzie można zmagazynować nawet niewielkie ilości ciepła w okresie wczesnowiosennym, jesiennym i podczas pochmurnej pogody, gdy obserwuje się największy deficyt ciepła. Z kolei szeregowy przepływ powietrza przez poszczególne segmenty umożliwi bardziej skuteczną wymianę ciepła w kolejnych segmentach akumulatora.

W oparciu o opracowaną koncepcję zbudowano w Instytucie Ogrodnictwa w Skierniewicach cztery pełnowymiarowe tunele foliowe, z których dwa wyposażono w kamienne akumulatory. W latach 2012-14 będzie w nich prowadzony eksperyment w pełnej skali produkcyjnej podczas towarowej uprawy pomidorów i ogórków. W oparciu o przeprowadzone badania zostaną zweryfikowane przyjęte założenia konstrukcyjne wypracowane na podstawie badań stanowiskowych. Będą również wyznaczone realne nadwyżki ciepła w całym sezonie uprawy, jak również najbardziej odpowiednie parametry robocze do przyszłych wytycznych konstrukcyjno-eksploatacyjnych dla wytwórców wyposażenia obiektów i producentów roślin uprawianych pod osłonami. Zostanie również wykonana wszechstronna ocena porównawcza efektów produkcyjnych, ekonomicznych i ekologicznych w odniesieniu do tradycyjnych tuneli foliowych. Będzie ona obejmowała również określenie ilościowej redukcji szkodliwych związków emitowanych do atmosfery dzięki zmniejszeniu zużycia tradycyjnych nośników ciepła.

Bibliografia

- Bouhdjar A., Belhamel M., Belkhiri F. E. Boulbina A.** (1996): Performance of sensible heat storage in a rock-bed used in a tunnel greenhouse. *Renewable Energy*, 9(1-4), 724-728.
- Boulard T., Razafinjohany E., Baille A., Jaffrin A., Fabre B.** (1990): Performance of a greenhouse heating system with a phase change material. *Agricultural and Forest Meteorology*, 52 (3-4), 303-319.
- Chen W., Liu W.** (2004): Numerical and experimental analysis of convection heat transfer in passive solar heating room with greenhouse and heat storage. *Solar Energy*, 76 (5), 623-633.
- Fath. H.E.S.** 1991. Heat exchanger performance for latent heat thermal energy storage system *Energy Conversion and Management*, 31(2), 149-155.
- Hamada Y., Fukai J.** (2005): Latent heat thermal energy storage tanks for space heating of buildings: Comparison between calculations and experiments. *Energy Conversion and Management*, 46 (20), 3221-3235.
- Hołownicki R., Konopacki P, Kurpaska S., Latała H., Treder W., Nowak J., Broniarek R.** (2012): Akumulator do magazynowania nadwyżek ciepła w uprawach pod osłonami. Zgłoszenie do Urzędu Patentowego RP.
- Kaniszewski S.** (2007): Produkcja warzyw w Polsce. Stan obecny i perspektywy. *Hasło Ogrodnicze* 4, 153-156.
- Kurata K., Takakura T.** (1991): Underground storage of solar energy for greenhouse heating. I. Comparison of seasonal and daily storage system. *Transactions of the ASAE*, 34(5), 2181-2186.
- Kurklu A., Bilgin S.** (2003): Cooling of a polyethylene tunnel type greenhouse by means of a rock bed. *Renewable Energy*, 29(13), 2077-2086.
- Kurpaska S., Latała H., Michalek R., Rutkowski K.** (2004): Funkcjonalność zintegrowanego systemu grzewczego w ogrzewanych tunelach foliowych. *PTIR*, Kraków, 118.
- Kurpaska S., Latała H., Rutkowski K., Hołownicki R., Konopacki P., Nowak J., Treder W.** (2012): Magazynowanie nadwyżki ciepła z tunelu foliowego w akumulatorze ciała stałego. *Inżynieria Rolnicza* 2(136), t. 1, 157-168.
- Ozturk H. H., Bascetincelik A.** (2003): Energy and energy efficiency of a packed-bed heat storage unit for greenhouse heating. *Biosystems Engineering*, 86(2), 231-245.

HEAT SURPLUS STORAGE IN POLYETHYLENE TUNNEL TYPE GREENHOUSES – – THE ROCK-BED ACCUMULATOR CONCEPT

Abstract. Growing vegetables in unheated polyethylene tunnel type greenhouses is a significant source of income for more than 40.000 of small farms (1-3 ha) in Poland. The article presents the objectives and the scope of the project aimed on developing a comprehensive technology of surplus heat storage, which was previously wasted in under cover horticulture production. Despite the numerous publications on that subject, the existing results are fragmentary and therefore they are not suitable for the extension purposes. There are no data on potential daily surplus of heat for our climate zone, which are necessary to determine the heat accumulator capacity. There is also no information on the influence of the heat storage system on modification of the microclimate condition inside the plastic tunnel and on production effects, especially on the yield and the quality and bringing forward the harvest. A key component of the project is the concept of the rock-bed heat accumulator, which was submitted to the Polish Patent Office. An innovative solution is the segmentation

and serial charging of the heat accumulator with warm air. These concept results in the high working flexibility and allows the efficient use of even a small heat surplus. Depending on the requirements 25, 50, 75 or 100% capacity of the rock-bed can be used. In the final stage of the project, the effects of the use of the heat accumulator in two test species (tomato, cucumber) will be identified. The constructional and operational guidelines will be also evaluated based on a comprehensive process analysis of the heat storage. It is expected that the use of the heat accumulators will increase production results without additional energy consumption and emissions of the conventional fuels combustion products to the environment.

Key words: greenhouse horticultural production, energy accumulation, renewable energy

Adres do korespondencji:

Ryszard Hołownicki; e-mail: Ryszard.Holownicki@inhort.pl
Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach
ul. Konstytucji 3 Maja 1/3
96-100 Skierniewice